

浅海域における堆積赤土砂の除去に関する基本的な検討

Basic Examination On Removal of Sedimentary Reddish Soils from Near Shore Shallow Water

新 垣 武

Arakaki, Takeshi

目 次

要旨	57
はじめに	58
調査内容	59
1) 調査項目	59
2) 調査地点	59
3) 調査方法	59
調査結果と考察	60
参考文献	66

要 旨

沖縄県では農地開発、各種建設事業、米軍基地などからの赤土砂の流出による水質汚染が重要な環境問題となっているが、その対策としては次の3種類がある。1. 発生源対策、2. 流下過程（河川など）における対策、3. 流出堆積した赤土砂の対策。これらの中で、発生源対策としては、マルチング（敷き草）、カバークロップ、沈砂池、モグラ暗渠、排水路の整備、山腹工、排水処理プラントなどの対策が講じられている。また、流下過程における対策としては、砂防ダム（治山ダム）の設置、ふとん籠による濾過などが実施されている。しかしながら、河口域や海域に流出堆積した赤土砂については、特に除去などの対策は講じられておらず、台風などによる荒天時に自然に

沖合に拡散除去されるのを待っている状況である。

本研究では流出して浅海域に堆積した赤土砂の沖合への移動を促進する方法について検討を行った。

検討手法

1. 赤土砂の堆積している浅海域に潮流変化を起こさせる障害物を配置してその効果による潮流変化を確認した。
2. 潮流の変化は数値シミュレーションにより計算した。

モデル海域として金武湾を選定して検討を行った結果、金武湾北西部で石川川からの赤土砂流入がみられる地点の沖合においては、流速が2cm/s以下であり、石川川河口部の近傍では数mm/sであることが分かった。また、障害物を配置することにより、流向変化と流速変化を起こす事が可能で、

今回のモデル計算の条件では流速が30%程度変化することが確認された。

はじめに

沖縄県の農地からの赤土砂流出は、昭和20年代後半のパインブームによる畑の造成がその始まりとされている。当初は、個人的な造成がほとんどであったが、昭和40年代後半からは農業基盤整備事業の実施に伴う造成規模の拡大により赤土砂流出量も増加してきた。

これらに対するこれまで実施されてきた流出防止対策には、大別して造成時のものと営農時のものがある。造成時の対策に関しては、造成工事及び施工に係る種々のものがあり、現在、一定規模以上の造成に関して沖縄県赤土等流出防止条例（以下、赤土条例と呼ぶ）による濁水の排出基準値が適用されている。一方、営農時の対策に関しては、等高線栽培、パイン圃場の更新方法の適正化、マルチング等がある。また、沖縄県においても平成7年に赤土等流出防止対策基本方針を策定して指導、研究を推進している。更に農家意識の高揚のための活動として県・市町村・農協・土地改良区及び農家等地域の関係者が一体となって（ア）「土壌保全の日」における、土壌流出防止対策の共同一斉活動を地域全体で取り組み、土壌保全管理の徹底を図る。（イ）県、市町村及び関係団体等による現地検討会等の実施などがなされている。

現在の沖縄県全体の年間赤土砂流出量に関しては、1993～94年時点の状況で、開発事業（農業基盤整備事業を含む）6割、農地3割、米軍基地1割という試算（参考文献1）がある。その後の赤土条例の施行によって、開発事業に関しては、かなりの

流出量低減が推進されていると見込まれるが、農地に関しては、なお相当量の流出があると考えられる。

このような状況の中で赤土砂による汚染の対策については発生源における流出防止対策としてマルチングや水路工など多様な対策が検討されて実施に移されている。また、発生源より流出した赤土砂は河川などを通じて最終的に海域へ堆積するがその流下過程での赤土砂の除去を図るために砂防ダムや各種の濾過施設が設置されて、ある程度の効果をあげている。しかしながら、河川から流出して浅海域に堆積した赤土砂については、それが海域生態系に与える影響は大きいにもかかわらず、これまでほとんど対策が検討されていない状況である。浅海域に堆積した赤土砂の除去が、これまでにあまり検討されていない理由は堆積した土砂の除去に通常もちいられている浚渫がコストが高く環境に与える影響が大きいためであり、低コストで環境に与える影響も小さい手法の開発が求められている。

本研究では浅海域に堆積した赤土砂を人工的に作り出した漂砂現象を利用して除去することの可能性について基礎的な検討を行った。検討手法は、選定したモデル海域において現地形の状態、人工構造物（テトラポットなど）を設置した場合における潮流の変化を数値シミュレーションにより求め、人口構造物の適切な設置による赤土砂の浅海域からの除去の可能性について検討した。

浅海域に堆積した土砂については、航路の確保などのために浚渫による除去がなされる場合はあるが、海域の環境保全という観点からその除去対策が研究されることはほとんどない。本研究は低コストで環境に与える影響の小さい対策手法を検討するこ

とが、その特徴となっている。

調査の内容

1) 調査項目

本研究においては、実際に赤土砂の堆積した浅海域からモデルとなる海域を選定して、そのモデル海域の潮流の状況を数値シミュレーションにより求めて現況とする。それから、その状況に障害物を配置することにより、その海域の潮流に変化をあたえ、それにより引き起こされた人工漂砂現象を利用して堆積した赤土砂を沖合へと移送することの可能性について検討を行う。現実的には障害物としてはテトラポット等の人工構造物を配置することが考えられる。

具体的には、モデル海域において障害物がないケースとあるケースについて数値シミュレーションを行い、流速変化の程度を比較検討した。

2) 調査地点

調査対象モデル海域として、沖縄本島中部の東海岸に位置する金武湾を選定した。

選定理由：

1. 沖縄県の海域定点赤土砂堆積調査地点の2点が金武湾にあり、石川川の河口域などにおける赤土砂の堆積が報告されている。
2. 数値シミュレーションにもちいる水深値を求めるのに必要な海図などの資料がある。
3. 数値シミュレーションの入力条件として必要な境界条件に持ちいる潮汐の測定データがある。

3) 調査方法

流況変化の検討

流況の変化については、数値シミュレーションを行った。数値シミュレーションのモデルは次のとおりである。

潮汐流を対象として、解法はナビエ・ストークスの運動方程式および連続方程式を基礎とし、差分法による非定常解析により流向、流速を求めた。

(X方向の運動方程式)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \nu_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

(Y方向の運動方程式)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \nu_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

連続方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

ここで、	
x, y, z : 鉛直上向きの座標系 (cm)	t : 時間 (sec)
u, v, w : x, y, z 軸方向の流速 (cm/sec)	p : 圧力 (g/cm・sec ²)
ν_h : 水平渦動粘性係数 (cm ² /sec)	ν_v : 鉛直渦動粘性係数 (cm ² /sec)
f : コリオリ定数 (sec ⁻¹)	

境界条件：金武湾の東側開口部において潮汐のデータ（M2 潮）を境界条件としてあたえた。

モデル海域の範囲とメッシュの大きさ

モデル海域としては金武湾全域を調査対象とし、全領域を 100mx100m のメッシュに分割して各メッシュにおける潮流の状況を上げ潮時と下げ潮時に障害物なしと障害物ありの各 1 ケース、合計で 4 ケースについ

て実施した。表 1 に計算ケースを示した。障害物のあるケースは、赤土砂流出が観察されている金武湾北東部の石川川河口域において、200m の長さ（2 メッシュ）の長さの障害物を配置した場合における流況の変化を数値シミュレーションにより求めた。

表 1 計算ケース

ケース	潮時や地形等の変化
1	上げ潮時で障害物なし
2	上げ潮時で障害物あり
3	下げ潮時で障害物なし
4	下げ潮時で障害物あり

調査結果と考察

金武湾全域（大領域）における上げ潮時の流況は図 1 のとおりである。東側開口部の金武岬の近くで流速が最も速い水域（20cm/s 程度）があるが、これは開口部の平均的な水深が約 50m であるのに対して、金武岬の南側沖合では水深が浅くなっているために流速が速くなっていると考えられる。全体的に流況を概観すると湾中央部においては流速が 5cm/s を超えるとみられる地点があるが、北西部や南西部などの湾奥部では流速は 5cm/s を超える地点はみられない。

下げ潮時における流況は図 2 に示したと

おりであるが、上げ潮時に東側開口部から湾内に流入し湾奥部に到達した海水が下げ潮時には流入した経路の逆をたどって開口部に流出していく流況を示している。各地点における流速も上げ潮時とほとんど同じような状況であり、湾奥部では 5cm/s を超えるような地点はみられないが、湾中央部では 5cm/s を超える地点もある。また、流速が最も速い地点は金武岬の南側沖合となっている。

次に現在赤土砂が流出堆積している石川川河口域周辺の海域（小領域）の流況を図 3～6 に示した。図 3 は障害物がない場合における上げ潮時の流況であるが、石川川

河口の沖合（X座標 15、Y座標 155 の周辺）では流速は 2cm/s 程度あるが、河口の近傍では流速は数 mm/s とかなり遅くなっている。図 4 は障害物を配置した場合における上げ潮時の流況の変化を示しているが、障害物の近傍で流向と流速の変化が明らかにみら

れる。図 5 と図 6 は下げ潮時における障害物がない場合とある場合の流況を示しているが、障害物がある場合には石川川河口域の赤土砂が堆積している地点に向けて流向の変化がみられると同時に流速にも変化が生じている。

上げ潮時（ケース 1 大領域）

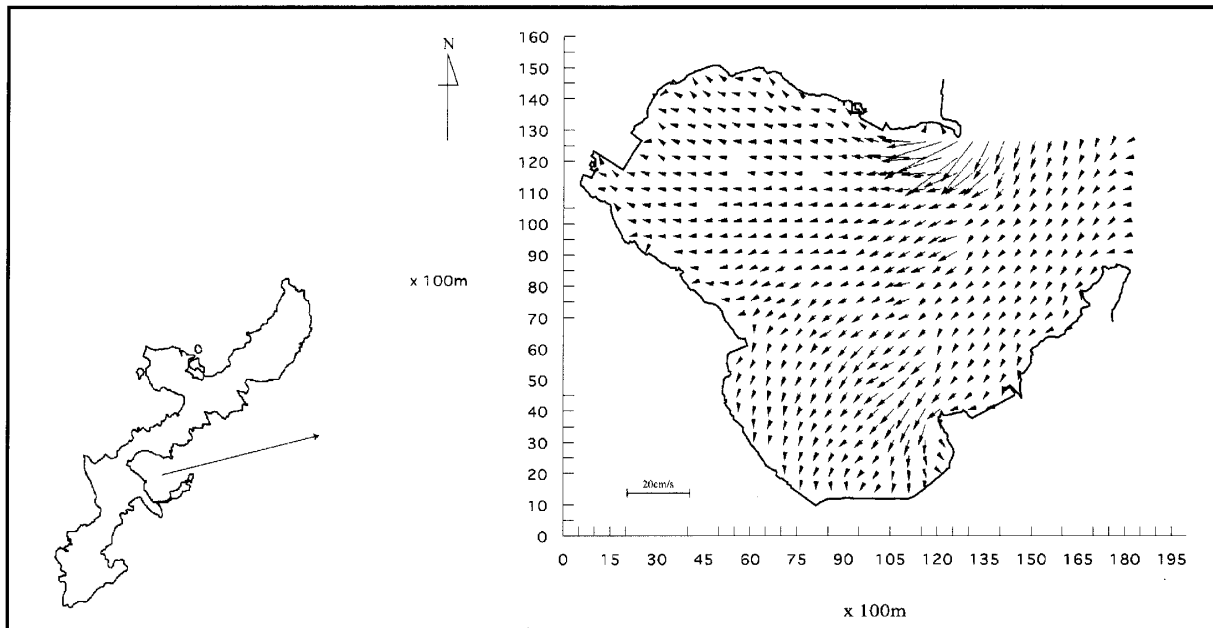


図 1 金武湾全体の流況図

下げ潮時（ケース 3 大領域）

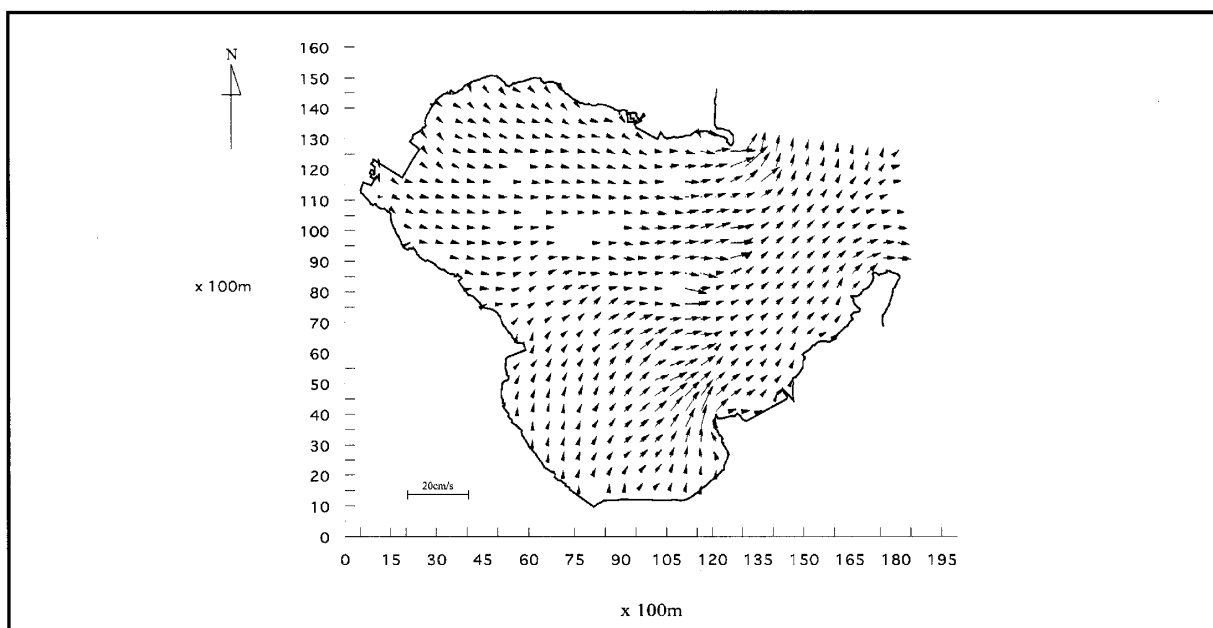


図 2 金武湾全体の流況図

ケース 1 小領域

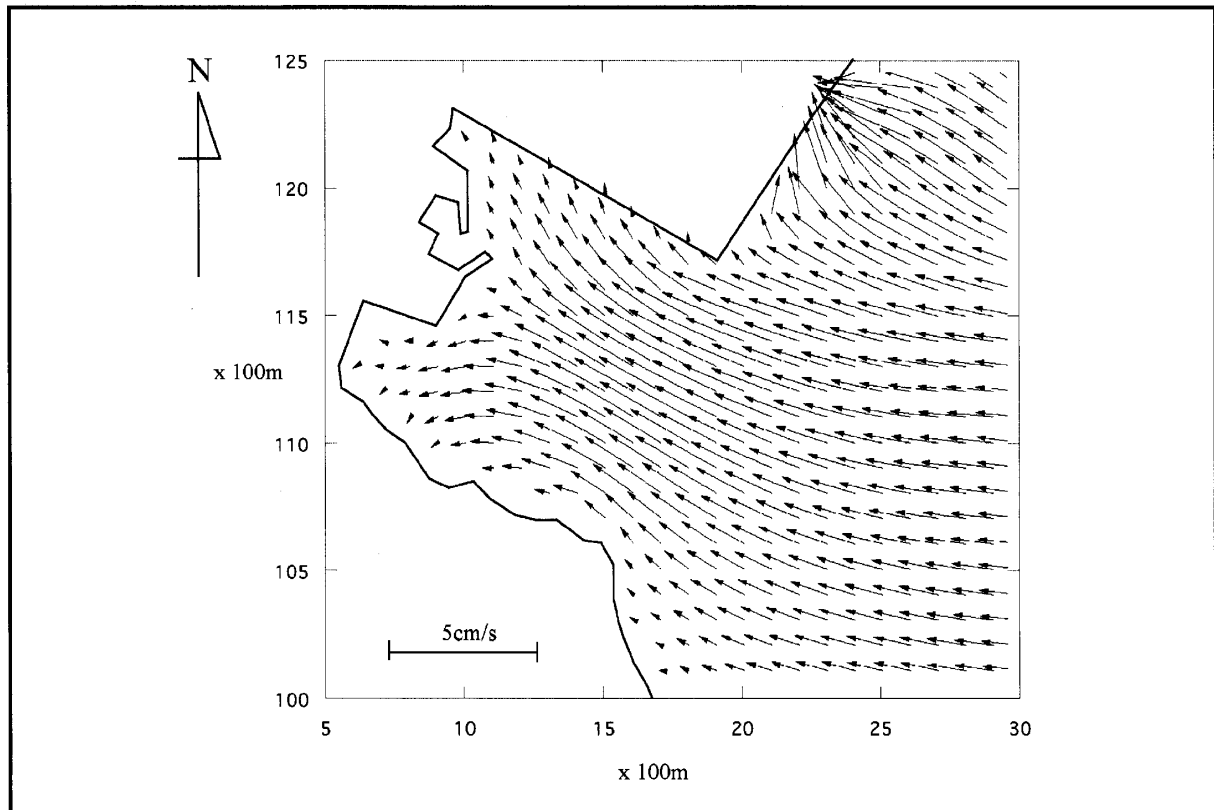


図 3 石川川河口域における上げ潮時の流況（障害物なし）

ケース 2 小領域

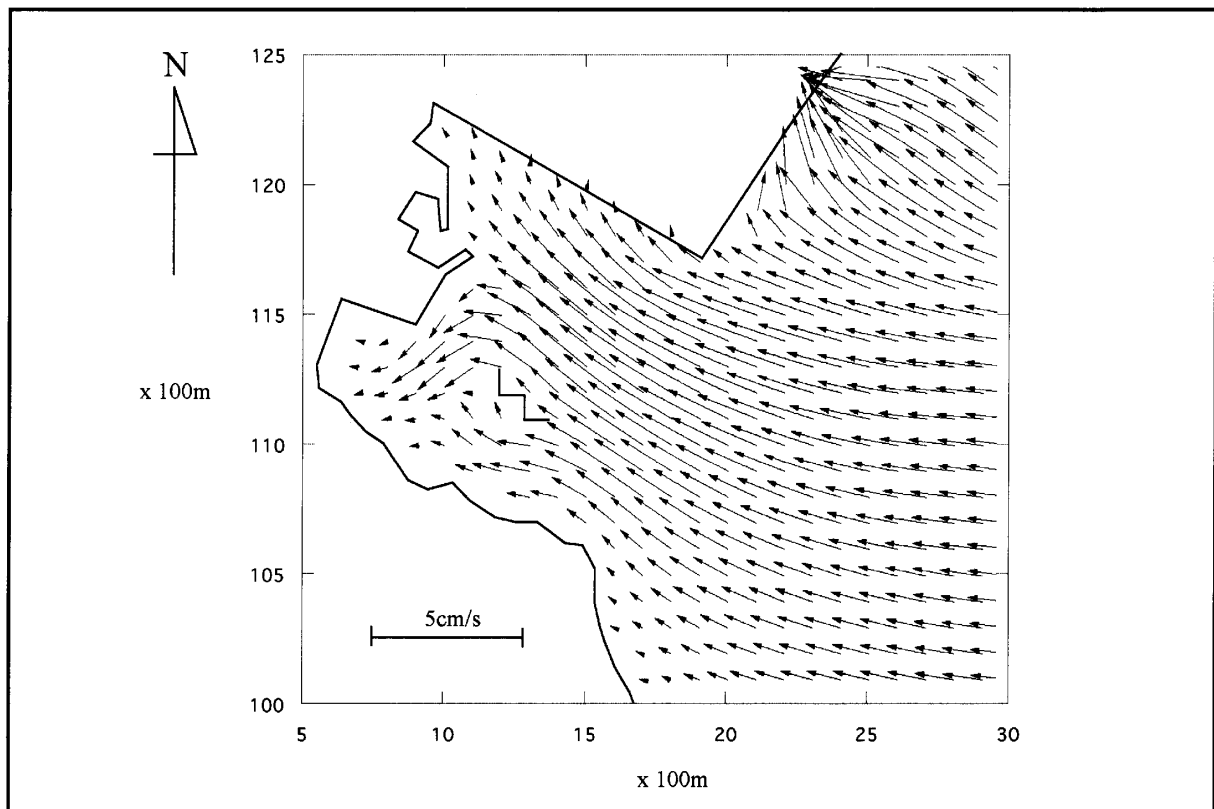


図 4 石川川河口域における上げ潮時の流況（障害物あり）

ケース 3 小領域

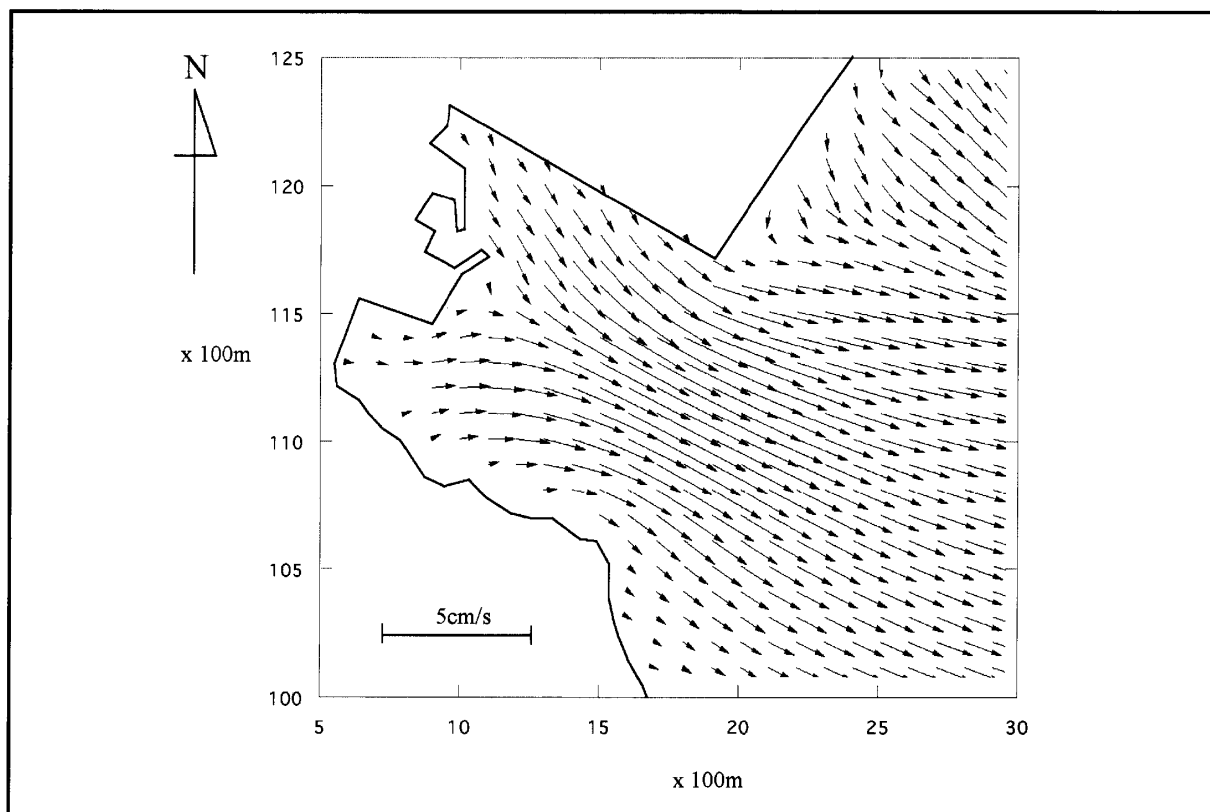


図 5 石川川河口域における下げ潮時の流況（障害物なし）

ケース 4 小領域

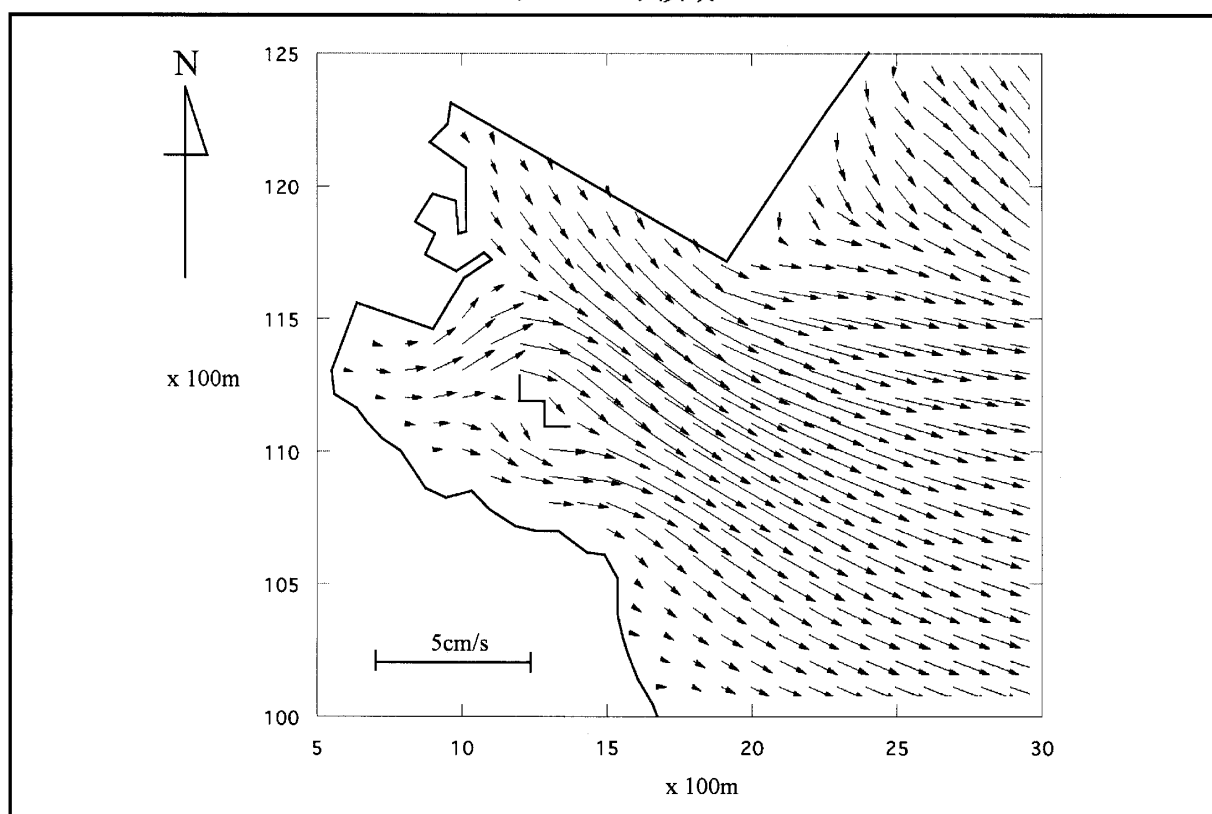


図 6 石川川河口域における下げ潮時の流況（障害物あり）

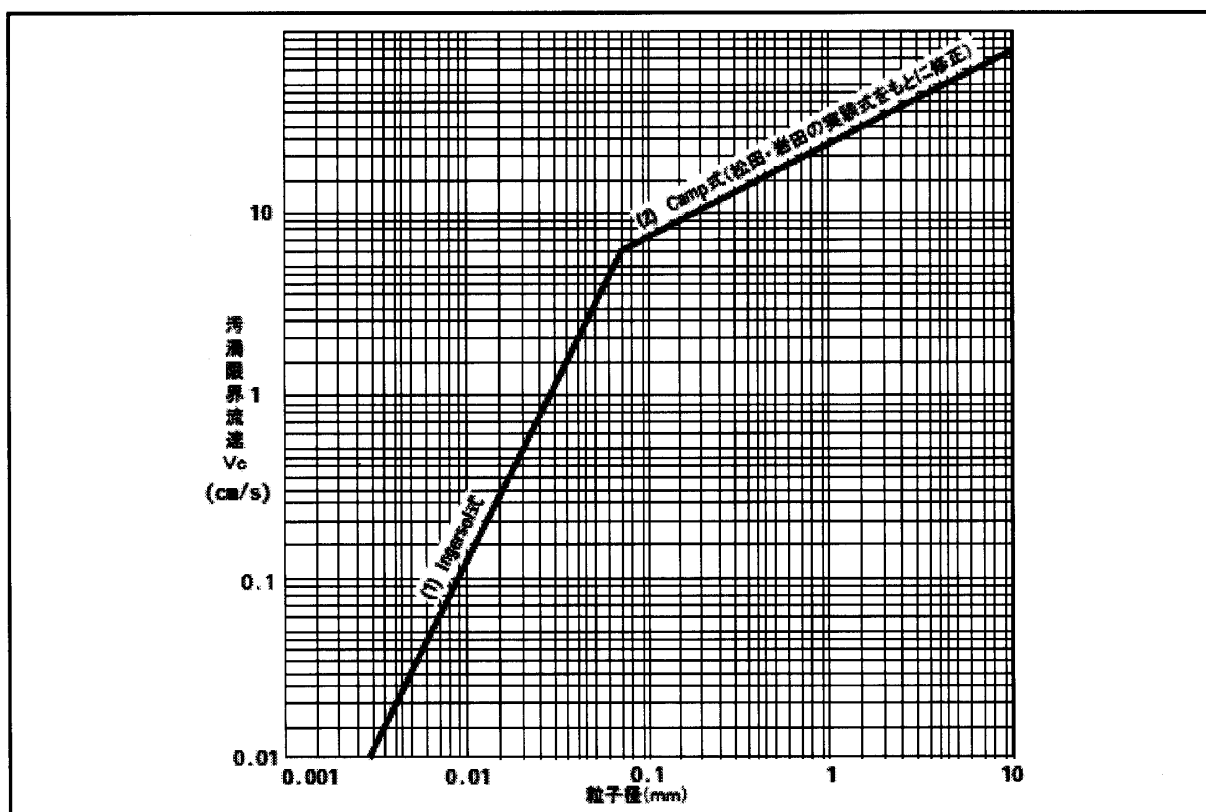


図7 粒子径と汚濁限界流速

出典：参考文献3

潮流により海底に堆積した赤土砂が再浮上して移流拡散する場合には堆積している赤土砂の粒子径と潮流の流速が重要な要因となる。堆積した土砂の粒子径と汚濁限界流速との関係は図7に示すとおりであり、粒子径の対数値と汚濁限界流速の対数値は直線的に比例する。

典型的な赤土砂の粒度分布として東村平良川に堆積した赤土砂の粒度分布を表2に示した。粒子径が0.075mm以下のシルト分＋粘土分が61.9%を超えており、粒子径が0.005mm以下の粘土分も20%を超えて含まれている。

表2 赤土砂の粒度分布

粗 砂 分 %	22.2	2mm > 粗砂分 > 0.425mm
細 砂 分 %	15.9	0.425mm > 粗砂分 > 0.075mm
シルト分 %	40.8	0.075mm > シルト分 > 0.005mm
粘 土 分 %	21.1	0.05mm > 粘土分

出典：参考文献4

図7に示されているように粒子径が0.075mm以下の粒子についてはその粒子径と汚濁限界流速の関係は Ingersol 式により求める事ができる。

$$\text{Ingersol 式} \quad V_c = \frac{1}{1.2} V \sqrt{\frac{8}{f}}$$

ここで、 V は Stokes 式より次のとおりである。

$$\text{Stokes 式} \quad V = \frac{1}{18} \cdot \frac{g(\rho_s - \rho)}{\mu} \cdot d^2$$

Ingersol 式により粒子径が $75 \mu\text{m}$ (0.075mm) 以下について汚濁限界流速を計算して表 3 に示した。

表 3 粒子径と汚濁限界流速との関係

d (μm)	Vc (cm/s)
5	0.03
10	0.12
20	0.46
30	1.04
40	1.84
50	2.88
60	4.15
75	6.31

表 3 から明らかなように流速が 2cm/s 以下でも $40 \mu\text{m}$ 以下の粒子は再浮上することから河川の河口域で湾奥部の比較的流速が遅い地点でも粒子径の小さい部分は潮流によって再浮上後に移流拡散することが期待される。ちなみに、参考文献 4 によれば、粒子径 $40 \mu\text{m}$ 以下の粒子が 53% 程度を占める。

石川川の河口域に障害物を設置した場合としない場合の障害物近傍の下げ潮時における流速変化を表 4 に示した。

障害物がある場合とない場合で今回設定した条件下で 30% 程度までの流速変化がみられる。このように障害物を設置すること

により流速に変化をあたえることができることは明らかである。今回の基本的な検討ではどの程度の流速変化を引き起こす事が可能かを調べる事が主要な目的であったが、今後の課題としては、実際にこのような流速変化により堆積赤土砂の沖合への移流拡散がどの程度促進されるかについて、再浮上した粒子の移流拡散についての数値シミュレーションによる検討なども含めて検証していく必要がある。

表 4 障害物の有無による流速の変化

地 点		流 速 (cm/s)		比
X 軸	Y 軸	障害物無し	障害物有り	
13	113	1.34	1.34	1.000
14	113	1.56	1.58	1.013
14	114	1.47	1.81	1.231
14	115	1.36	1.77	1.299
14	116	1.27	1.58	1.246
14	117	1.19	1.36	1.141
15	114	1.70	1.97	1.156
15	115	1.59	1.93	1.218

今後の課題

1. 本研究においては100m x 100mのメッシュに調査対象海域を分割して各メッシュ点における潮流の状況を数値シミュレーションにより求めた。しかしながら、河口域という比較的狭い範囲における潮流の変化を正確に予測するには海底地形の変化をより細かいメッシュで表現する必要があることから、今後より詳細なメッシュについてシミュレーションを行うことが必要である。
2. 今回は赤土砂が流入する石川川河口の1地点において200m程度の障害物を配置した場合の潮流変化を求めて、実際に有意な潮流変化が起きるかどうかについて基本的な検討を行ったが、今後は障害物を単独にまたは数カ所以上の地点に複数配置した場合における効果を検証することにより、最適な障害物の配置について詳細に検討する必要がある。
3. 赤土砂が潮流により再浮上して沖合に拡散することを促進できるかどうかを確認するための基礎的な検討として、

障害物を配置することによる潮流の変化の程度を求めたが、今後はこの潮流変化による赤土砂の運搬量の変化を移流拡散シミュレーションなども含めて定量的に把握する必要がある。

4. 浅海域に堆積した赤土砂に対してこのような対策を講じた場合には沖合に赤土砂がより短時間のうちに拡散することになることから、沖合に短時間に拡散した赤土砂による周辺の生態系などへの影響について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 大見謝辰男ら、「沖縄県における赤土汚染の近況と今後の課題」、第10回沖縄土質工学研究発表会講演概要集、1997年、沖縄地盤工学会
- 2) 海図「金武中城港一金武湾」、2002年3月、海上保安庁
- 3) 「港湾工事における濁り影響予測の手引き」、2004年、国土交通省港湾局
- 4) 「赤土砂堆積除去・有効利用検討業務」、1998年、沖縄総合事務局